

**Бондаревський С. Л.,
Данилейко О. К.,
Рожненко Ж. Г.**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПУЛЬСАЦІЇ СВІТЛОВОГО ПОТОКУ ДЖЕРЕЛ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

На підставі українських та Європейських Норм проаналізовано вимоги до рівня пульсацій світлового потоку. Для розрахунку коефіцієнта пульсації запропоновано пристрій, заснований на використанні перетворювача оптичного випромінювання — фотодіода та реєстратора — осцилографа. Одержані осцилограми зміни світлового потоку в часі, на підставі яких розраховані коефіцієнти пульсацій. Дослідження виявили, що певні зразки ширококовжених ламп мають неприпустимий рівень пульсацій світлового потоку.

Ключові слова: лампи, пульсації світлового потоку, пристрій, осцилограми, коефіцієнт пульсацій.

1. Вступ

Згідно Енергетичної стратегії України на період до 2030 року [1] зростання побутового споживання електроенергії населенням до 2030 року у порівнянні з 2010 роком складе більше 55 % (середньорічний темп — 2,2 %). Одночасно зі зростанням значним буде і збільшення енергоефективності (у цілому приблизно на 1,2 % щорічно) за рахунок раціональнішого використання електроенергії для опалення, кондиціювання, вентиляції та, що немало важливо, освітлення.

Реалії сучасного ринку енергоносіїв у державі — поступове і планомірне підвищення ціни на електроенергію — змусили людей замислюватися над рівнем споживання енергоносіїв [2, 3], адже перш за все — це запорука енергетичної безпеки України. Так, базовий сценарій попиту на електроенергію передбачає до 2030 року зниження електроємності ВВП приблизно на 40 % (з 0,19 кВт·год/грн у 2009 році до 0,11 кВт·год/грн у 2030 році). Для виходу на цей показник необхідно досягти 20 % скорочення питомого споживання електроенергії, у тому числі за рахунок «стимулювання використання енергозберігаючих побутових електроприладів та енергозберігаючих систем освітлення» [1].

Сьогодні на ринку джерел штучного освітлення з'явилася велика кількість різноманітних енергоефективних ламп, що відрізняються за принципом дії: індукційні, люмінесцентні, компактні люмінесцентні, світлодіодні тощо. Безумовно, ці лампи мають більш високий коефіцієнт світлової ефективності порівняно з донедавна поширеними лампами розжарювання [4–6], які відіграли величезну роль у розвитку людства і сьогодні є застарілим джерелом світла.

Проте, освітлення, що надає позитивний вплив на організм людини, не обов'язково повинно бути енергоефективним. При використанні ламп і світильників з метою підтримки, наприклад, циркадного ритму людини і створення оздоровчого, мотивуючого і заспокійливого ефекту, як правило, не робиться акцент на найбільш енергоефективних параметрах освітлення. Отже, якість освітлення та енергоефективність — це не взаємовиключні поняття і їх необхідно співставляти [7].

В Україні одним із основних нормативних документів, що встановлює вимоги до освітлення, є ДБН В.2.5-28:2006 «Природне і штучне освітлення», який введений в дію десять років тому, коли сучасна освітлювальна техніка в Україні була на початковій стадії впровадження. На базі цих Норм розробляються різноманітні галузеві норми освітлення, які враховують специфічні особливості технологічного процесу і будівельних рішень будівель і споруд галузі, які погоджуються і затверджуються відповідно до чинного порядку. До параметрів освітлення, що регламентуються даними Нормами, відносять: освітленість на робочій поверхні від системи загального освітлення, циліндрична освітленість, показник дискомфорту, коефіцієнт пульсації освітленості тощо.

Зупинимось докладно на явищі пульсації світлового потоку випромінювання (пульсації освітленості). Серед показників якості світлового середовища пульсації освітленості займають окреме місце. Особливо гостро питання про виявлення та обмеження цього показника пов'язано в даний час у зв'язку з масовим використанням різноманітних систем освітлення, робота яких безпосередньо впливає на людину.

З цієї точки зору дивним є той факт, що вищезгадані Нормами не передбачені методи (методика, порядок, умови, настанови, обладнання тощо) для вимірювання, контролю або виявлення пульсації світлового потоку. Недосконалість та необхідність оновлення і доповнення цих Норм з подальшою гармонізацією національної нормативної бази з нормами ЄС докладно висвітлено в роботі [8].

Таким чином, створення сучасного та доступного українського обладнання, за допомогою якого можливе, як мінімум — виявлення, а, як максимум — вимір пульсації та розрахунок коефіцієнта пульсації освітленості, є актуальною задачею.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є лампи штучного освітлення загального та промислового призначення. Наразі, більшість виробників ламп приділяють увагу таким показникам,

як час роботи лампи, індекс передачі кольору, енерго-ефективність лампи. Беззаперечно, ці показники є важливими, в той же час серед параметрів ламп найчастіше відсутні не менш важливі характеристики — спектральні показники та рівень пульсації. Останні можуть призвести до негативного впливу на стан та здоров'я людини — головний біль, погіршення зору тощо.

3. Мета та задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за *мету* підвищити рівень теоретичної та практичної підготовки спеціалістів, а також споживачів, які формують критичне відношення до розрекламованих догм про найбільш поширені системи штучного освітлення.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- 1) розробити пристрій нескладної конструкції і невисокої вартості, що дасть можливість розрахувати коефіцієнт пульсації;
- 2) порівняти та проаналізувати значення коефіцієнта пульсації для різних джерел штучного освітлення, що наявні на українському ринку.

4. Аналіз літературних даних

У 1989 році з метою розробки єдиних норм в галузі прикладної світлотехніки при Європейському комітеті зі стандартизації (CEN) був створений Технічний комітет ТК169 «Світло і освітлення». В середині 2003 року були розроблені норми в області світлотехніки одно-стайно визнані у всіх країнах-членах CEN, які замінили в цих країнах їх власні норми з деталізацією відповідно до національних умов і є обов'язковими до виконання [9]. Базовими із затверджених норм є EN 12665 та EN 12464-1 (у липні 2011 року опубліковані розширені і доповнені редакції цих норм), які регламентують і встановлюють основні поняття та критерії для оцінки вимог до освітлення робочих місць всередині приміщень для понад 300 видів зорових задач. Власне, цінність цих норм полягає в тому, що вперше для всієї Європи створені єдині вимоги до освітлення підприємств, установ та робочих місць тощо.

З урахуванням зовнішньої політики України з 2013 року — поглиблення інтеграції в Європейський Союз — надалі будемо орієнтуватися переважно на Європейські Норми, а саме на розділи, що встановлюють вимоги до кількісних і якісних показників освітлення. Зазначимо, що додатково у Нормах наводяться рекомендації щодо реалізації правильних і енергозберігаючих освітлювальних рішень.

У Європейських Нормах регламентуються наступні параметри освітлення:

- освітленість зони виконання зорової задачі;
- освітленість зони безпосереднього оточення;
- узагальнений показник дискомфорту;
- загальний індекс передачі кольору;
- пульсація освітленості.

Дослідження впливу пульсуючого світла (частотою до 300 Гц) на організм людини показали, що таке освітлення негативно впливає, по-перше, на фоторецептори сітківки очей, а по-друге, на центральну нервову систему, а отже і на мозок людини [10]. Як наслідок — напруга в очах, зниження працездатності, втоми, погіршення

пам'яті, головний біль [11, 12]. Тривалий вплив пульсуючого освітлення може призвести до виникнення стресів [13], а отже до хронічних захворювань серцево-судинної і нервової системи [12], проблем з органами зору. Крім того, при пульсації світла можливе виникнення стробоскопічного ефекту [6, 14]. Так, наприклад, короткочасні пульсації фар автомобіля в нічний час спричиняють виникнення фантомних явищ, які можуть стати причиною дорожньо-транспортної пригоди [15]. Тобто, вимоги до рівня пульсації освітлення виникли не на порожньому місці і задовго до появи сучасних джерел світла [16, 17].

Українськими Нормами (ДБН В.2.5-28-2006) встановлено, що глибина пульсації освітленості при живленні джерел світла струмом частотою менше 300 Гц не повинна перевищувати 20 %, а для деяких випадків — 15 % або навіть 10 %. У Європейських Нормах відсутні кількісні показники пульсації освітленості, хоча цьому явищу присвячено розділ. Замість значень коефіцієнта пульсації в цьому розділі зазначено, що в приміщеннях з тривалим перебуванням людей пульсація освітленості і виникнення стробоскопічного ефекту не допускаються.

Недостатність висвітлення цього питання в українській науковій літературі, суперечлива інформація та заздалегідь скриті виробниками деякі параметри ламп [18, 19], обумовлюють необхідність проведення досліджень у цьому напрямку.

5. Матеріали та методи дослідження

5.1. Теоретичні аспекти дослідження коефіцієнта пульсації. Системи штучного освітлення — різноманітні освітлювальні прилади, що побудовані на різних типах ламп, відбивачів тощо. Сьогодні найбільшого поширення отримали лампи в побуті: розжарення (галогенна), люмінесцентна, світлодіодна; в промисловості: дугова ртутна лампа, металогалогенна лампа, натрієва лампа тощо. З очевидних причин для живлення всіх ламп, без виключення, використовують джерело змінного струму. Наявність пульсації освітленості викликана виключно джерелом живлення, що використовує та чи інша лампа та фізикою її роботи.

Пульсація — це процес періодичної або довільної зміни в часі певного параметра відносно його середнього значення в сталому режимі. Для визначення рівня таких змін використовують поняття коефіцієнта пульсації, який показує відношення амплітуди пульсації до середньої величини даного параметра.

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 коефіцієнт пульсації освітленості k_n , % — критерій оцінки відносної глибини коливань освітленості внаслідок зміни в часі світлового потоку газорозрядних ламп при живленні їх змінним струмом, який виражається формулою:

$$k_n = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{сеп}}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де E_{\max} , E_{\min} — відповідно максимальне і мінімальне значення освітленості за період її коливання, лк; $E_{\text{сеп}}$ — середнє значення освітленості за той же період, лк.

Для кращого розуміння формули (1) проілюструємо залежність її складових (рис. 1) на прикладі довільного графіку пульсації освітленості $E(t)$, який наведено

у ГОСТ 54945-2012 «Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности».

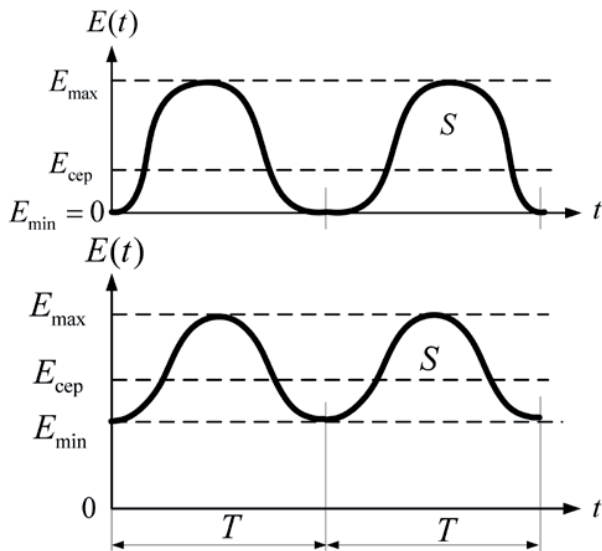


Рис. 1. До визначення коефіцієнта пульсації

З формули (1) видно, що для визначення $k_{\text{п}}$ необхідно знати (виміряти) E_{max} та E_{min} і розрахувати чи виміряти $E_{\text{сеп}}$. Зазвичай освітленість вимірюється спеціальними професійними люксметрами-пульсометрами [18], які проводять виміри всіх значень освітленості і одночасно автоматично розраховують коефіцієнт пульсації. З рис. 1. очевидно, що $E_{\text{сеп}}$ можна розрахувати проінтегрувавши $E(t)$ при умові наявності осцилограми пульсації або оцифрованого сигналу.

Отже, в загальному випадку, повна формула для визначення коефіцієнта пульсації:

$$k_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{сеп}}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2 \cdot \frac{1}{T} \int_0^T E(t) dt} \cdot 100 \% = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2 \cdot \frac{S}{T}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

де $E(t)$ — функція зміни освітленості у часі; S — площа обмежена кривою освітленості; T — період коливань (час виміру освітленості).

Зрозуміло, що формула (2) потребує значного об'єму розрахунків і важко реалізується в практичних умовах, коли, наприклад, відсутній люксметр-пульсометр або форма $E(t)$ відрізняється від гармонійної, що, доречі, не можливо передбачити заздалегідь.

Виходячи з викладеного вище, є сенс використовувати спрощений метод розрахунку коефіцієнту пульсації [18, 20, 21], який базується на формулі:

$$k_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

тобто $E_{\text{сеп}}$ розраховується як середнєарифметичне E_{max} та E_{min} .

Особливістю використання формул (2) і (3) є збіг $k_{\text{п}}$ при формі пульсації близької до синусоїдальної, наприклад, для ламп розжарювання; однак, чим сильніше форма пульсації відрізняється від гармонійної, тим більше розрізняються розрахунки коефіцієнтів пульсації. Крім того, перевагою формули (3) є неможливість перевищення коефіцієнта пульсації значення 100 %, в той час як за формулою (2) він може бути набагато більше (рис. 1 при $E_{\text{min}} = 0$), що можливо спостерігати при живленні ламп імпульсним джерелом [18].

Наряду з зазначеними перевагами формула (3) має і ряд суттєвих обмежень та недопущень її використання:

- живлення ламп з пристроями ЕПРА (електронна пуско-регулююча апаратура);
- застосування регуляторів потужності, наприклад, димерів;
- застосування драйверів.

5.2. Обладнання для проведення дослідження. В роботі [22] детально описано будову стенда, який розроблено на кафедрі електромеханіки ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна, м. Кривий Ріг, для визначення характеристик джерел штучного освітлення. Стенд складається з двох ідентичних модулів для аналізу характеристик ламп і модуля керування, який призначено для керування роботою ламп і вимірювань електричних параметрів джерел світла.

Як зазначалося вище, для визначення коефіцієнта пульсації використовують професійні люксметри-пульсометри, які в умовах теперішнього фінансового стану наукових установ, проектних організацій та споживачів практично недоступні. Спираючись на запропоновану у ГОСТ 54945-2012 та у [21, 23] методику вимірювання коефіцієнта пульсації освітленості, засновану на використанні перетворювача оптичного випромінювання, авторами запропонована більш функціональна блок-схема, яка наведена на рис. 2. Сукупність елементів даної блок-схеми утворюють пристрій для розрахунку коефіцієнта пульсації за формулою (2) або (3), який згідно термінології [22] має назву Модуль-П. Окрім розрахунку коефіцієнта пульсації використання Модуля-П дозволить також проаналізувати зміну рівня освітленості в часі, тобто отримати осцилограму освітленості.

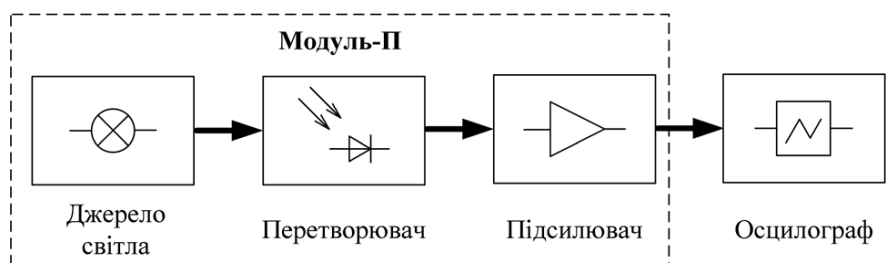


Рис. 2. Блок-схема вимірювання освітленості

Розглянемо докладно складові блок-схеми. В якості перетворювача може використовуватися фотодіод будь-якого типу та спектральної чутливості (в роботі використано ФД263-01). Необхідність введення в схему підсилювача (відсутній і непередбачений у ГОСТ 54945-2012 та у [21]) обумовлено тим, що напруга на фотодіоді, при його освітленні, сягає рівня 100–200 мВ і для зручності

виміру напруги її потрібно підсилити. Принципова схема підсилювача наведена на рис. 3.

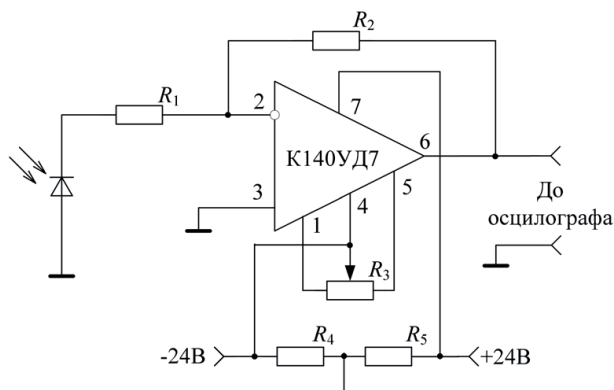


Рис. 3. Принципова схема підсилювача

Основою підсилювача є інтегральна мікросхема К140УД7, що являє собою операційний підсилювач (ОП) середньої точності, з вбудованою корекцією і захистом виходу від короткого замикання в навантаженні, на інверсний вхід 2 якої подано сигнал з фотодіода. Коефіцієнт підсилення визначається за формулою (4) та підбирається таким чином, щоб з урахуванням вихідного струму фотодіода рівень напруги на вході осцилографа був в межах 5 В.

$$k = \frac{R_{зв.зв.}}{R_{вх.}} = \frac{100}{5} = 20, \quad (4)$$

де $R_{зв.зв.}$ — резистор зворотного зв'язку ($R_2 = 100$ кОм); $R_{вх.}$ — вхідний резистор ($R_1 = 5$ кОм).

Змінний резистор $R_3 = 10$ кОм, що підключений між виводами 1 та 4, призначений для компенсації дрейфу нуля (нульового рівня). Резистори R_4 та R_5 по 10 кОм складають дільник напруги, який необхідно для забезпечення двополярного живлення ОП. Живиться підсилювач від однополярного імпульсного джерела постійного струму рівнем 24 В.

Осцилограф може використовуватись будь-якого типу. В роботі використано цифровий осцилограф Siglent SDS1022C.

6. Результати досліджень

Для унеможливлення «претензій» з боку виробників (постачальників) типи ламп навмисно не вказуються, тому обмежимося тільки переліком торговельних марок, що використовувались при даному дослідженні: Osram, Maxus, Philips, Delux, Iskra.

Для аналізу наявності пульсації та розрахунку коефіцієнта пульсації були проведені вимірювання для типу ламп, які є базовими Модуля-Д [22].

За допомогою розробленого пристрою були отримані осцилограми пульсацій, які наведені на рис. 4. Для зручності подальшого визначення E_{\max} та E_{\min} нульовий рівень сигналу на осцилограмі позначено червоною суцільною лінією.

Згодом за формулами (2) та (3) розраховано коефіцієнти пульсації, які зведені в табл. 1. Зазначимо, що для формули (2) $E_{\text{ср}}$ вимірювалась за допомогою звичайного мультиметра, адже в режимі вимірювання

постійної напруги він визначає саме середнє значення досліджуваного сигналу за рахунок вбудованого інтегратора.

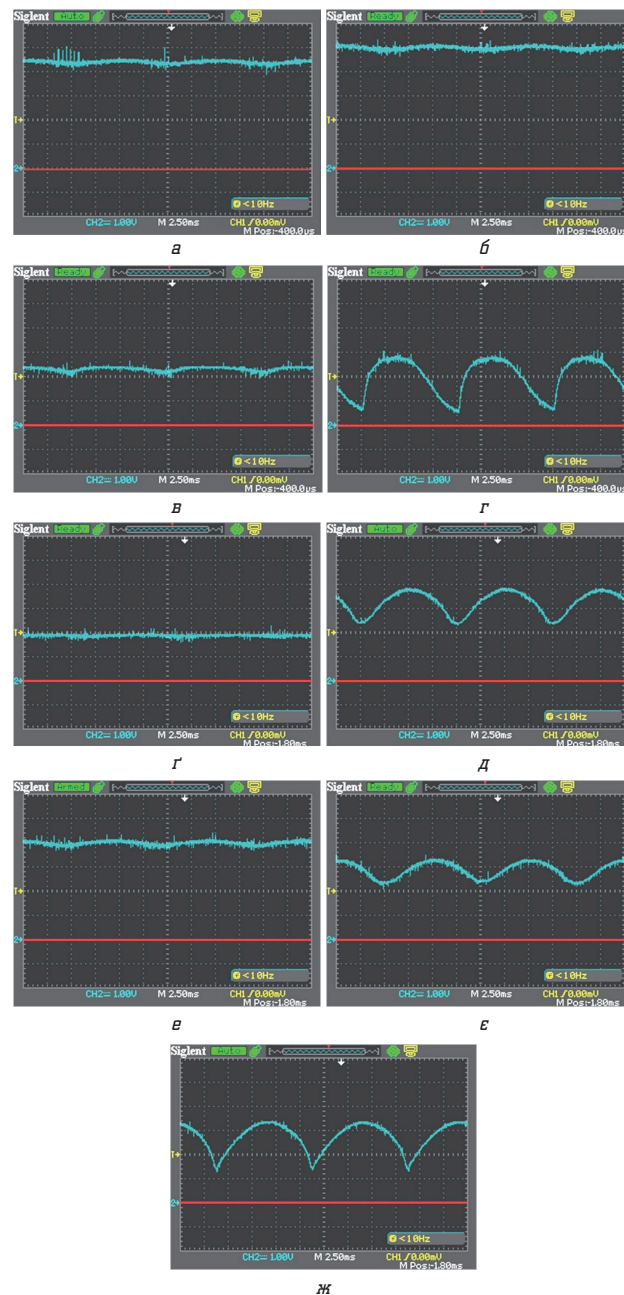


Рис. 4. Осцилограми світлового потоку ламп: а — лампа розжарювання; б — галогенна лампа; в — компактна люмінесцентна лампа; г — світлодіодна лампа; д — індукційна лампа; е — дугова ртутна лампа (ДРЛ); е — дугова ртутна лампа з вольфрамовою ниткою розжарення (ДРВ); ж — металогалогенна лампа (ДГЛ); ж — натрієва лампа (ДНАТ)

З табл. 1 видно, що у всіх ламп, окрім індукційної, спостерігається явище пульсації світлового потоку в діапазоні частоти до 300 Гц. Тільки досліджувана індукційна лампа відповідає Європейським Нормам щодо відсутності пульсації освітленості. Можна вважати допустимим рівень пульсації і для ламп ДРЛ, ДГЛ, ДНАТ, адже вони працюють переважно на відкритій місцевості або у приміщеннях промислового призначення, де вплив пульсуючого освітлення на організм

людини значно менший порівняно з побутовими приміщеннями. Незначний рівень пульсацій (навіть в межах українських Норм) для лампи розжарювання, галогенної, ДРВ та компактної люмінесцентної не є випадковим і пояснюється виключно принципом їх роботи: високою інерційністю — для перших трьох і високою частотою живлення світлового елементу — для останньої.

Таблиця 1

Результати дослідження рівня пульсацій

Тип лампи	$f_{\text{пульсацій}}, \text{Гц}$	E_{max}	E_{min}	$E_{\text{сер}}$	$k_{\text{п}}, \%$	
		у одиницях амплітуди напруги, В			за формулою (2)	за формулою (3)
Розжарювання	100	4,6	4,2	4,1	4,88	4,55
Галогенна	100	5,2	4,8	5	4,00	4,00
Компактна люмінесцентна	100	2,4	2,1	2,3	6,52	6,67
Світлодіодна	100	2,8	0,6	2,1	52,38	64,71
Індукційна	100	1,9	1,9	1,9	0,00	0,00
ДРЛ	100	3,8	2,4	3,5	20,00	22,58
ДРВ	100	4,1	3,8	4,0	3,75	3,80
ДРІ	100	3,3	2,3	2,9	17,24	17,86
ДНАТ	100	3,4	1,3	2,8	37,50	44,68

Окремої уваги заслуговує значний рівень пульсації світлодіодної лампи. В роботі поставлено під сумнів отримані результати, адже виробник лампи позиціонує свою продукцію з «відсутністю пульсацій». Для прояснення ситуації проведено додаткове дослідження, результати якого наведено на рис. 5, на світлодіодній лампі іншої серії того ж виробника.

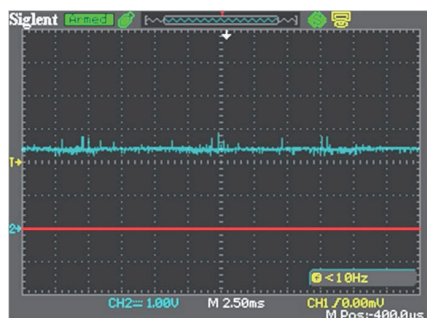


Рис. 5. Осцилограма світлового потоку світлодіодної лампи

З рис. 5 видно, що у другого зразка пульсація відсутня. З урахуванням вище сказаного, наявність пульсації освітленості викликана виключно внутрішнім джерелом живлення лампи. В роботі припущено, що перший зразок має браковане вбудоване джерело. Гірше, якщо виробник заздалегідь заощаджує на якості лампи, що призводить до появи пульсації та, вірогідно, до погіршення й інших її параметрів.

Зазначимо, що дослідження проведено в рамках науково-дослідної роботи «Розробка та впровадження пристроїв автоматизації для підвищення енергоефективності електромеханічних систем» (№ держреєстрації РК0116U001828),

в якій автори роботи не ставили за мету визначати кількісний рівень пульсації, акцент робився на виявленні наявності пульсації світлового потоку.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Проведені дослідження підтверджують доцільність застосування запропонованої конструкції пристрою, який відрізняється від професійних люксметрів-пульсометрів доступністю елементної бази та може бути виготовлений пересічним споживачем.

До недоліків запропонованого пристрою можна віднести відсутність автоматичної фіксації пульсації та обчислення її кількісних показників.

Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка додаткового обчислювального пристрою модульного типу на базі сучасного мікроконтролера для автоматизації розрахунку коефіцієнта пульсації.

За умови значного підвищення якості виробництва ламп штучного освітлення необхідність та доцільність аналізу пульсації, а отже і використання подібних пристроїв, буде зведено до мінімуму.

8. Висновки

1. Розроблено пристрій нескладної конструкції, застосування якого дає змогу провести якісну візуальну оцінку наявності пульсації світлового потоку для будь-якого типу та конструкції лампи з подальшим розрахунком кількісного показника рівня пульсації. Вибір складових запропонованого приладу робить його конструкцію універсальною завдяки використанню вільно доступної недорогої елементної бази, що дозволяє значно знизити його вартість порівняно з професійним фотометричним обладнанням.

2. Порівняно та проаналізовано значення коефіцієнта пульсації для різних джерел штучного освітлення, що наявні на українському ринку. В результаті чого виявлено відсутність пульсації, що відповідає Європейським Нормам EN 12665 та EN 12464-1, тільки у двох з десяти зразків — індукційної та світлодіодної лампи. Кінцевому споживачу «боротися» з пульсацією світлового потоку окремо взятої лампи неможливо, на відміну від комплексу системи освітлення. В більшості випадків передбачити відсутність або наявність пульсації та їх рівень не має можливості. Єдиний вихід — перед використанням лампи перевірити її на спеціалізованому обладнанні.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 1071-р // Верховна Рада України. — Режим доступу: \www/URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13/para3#n3>. — 12.09.2016.
2. Про енергозбереження [Електронний ресурс]: Закон України від 01.07.1994 № 74/94-ВР // Верховна Рада України. — Режим доступу: \www/URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80/print1469282159718039>. — 12.09.2016.
3. Булгакова, М. Енергозбереження в Україні: правові аспекти і практична реалізація [Текст] / М. Булгакова, М. Приступа. — Рівне: Видавець О. Зень, 2011. — 54 с.

4. Айзенберг, Ю. Б. Справочная книга по светотехнике [Текст] / под ред. Ю. Б. Айзенберга. — М.: Знак, 2006. — 972 с.
5. Гончаров, А. К вопросу энергоэффективности и энергосбережения в освещении [Электронный ресурс] / А. Гончаров, И. Денисов, И. Козырева, Ю. Федченко, А. Яковлев // Полупроводниковая светотехника. — 2011. — № 4. — С. 5–9. — Режим доступа: \www/URL: http://www.led-e.ru/assets/files/pdf/2011_4_5.pdf
6. Гвоздев, С. М. Энергоэффективное электрическое освещение [Текст]: учебное пособие / С. М. Гвоздев, Д. И. Панфилов, Т. К. Романова и др.; под общ. ред. Л. П. Варфоломеева. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 288 с.
7. OSRAM [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: http://www.osram.ru/osram_ru/. — 11.09.2016.
8. Сергейчук, О. В. Вимоги норм ЄС — основа розроблення комплексу нормативних документів з природного та штучного освітлення [Текст] / О. В. Сергейчук // Сучасні проблеми технічного регулювання у будівництві. — 2015. — № 1. — С. 79–85.
9. Рихтер, Х. Й. Новые европейские нормы освещенности [Текст] / Х. Й. Рихтер // Светотехника. — 2004. — № 1. — С. 28–32.
10. Clark, T. Flicker in LED Luminaires [Electronic resource] / T. Clark. — Finelite Inc., 2013. — Available at: \www/URL: http://www.finelite.com/download_files/white-paper/FL_Flicker_In_LED_Luminaires_WhitePaper.pdf. — 11.09.2016.
11. Ошурков, И. Обоснованный подход к нормативам пульсаций светодиодного освещения [Текст] / И. Ошурков // Современная электроника: научно-технич. журнал для специалистов, занимающихся разработкой и производством электроники. — 2013. — № 4. — С. 68–71.
12. Wilkins, A. J. Fluorescent lighting, headaches and eyestrain [Text] / A. J. Wilkins, I. Nimmo-Smith, A. I. Slater, L. Bedocs // Lighting Research and Technology. — 1989. — Vol. 21, № 1. — P. 11–18. doi:10.1177/096032718902100102
13. Wilkins, A. J. Stress and Distress from Fluorescent Lighting [Text] / A. J. Wilkins // Psychobiology of Stress. — Springer Science + Business Media, 1990. — P. 211–221. doi:10.1007/978-94-009-1990-7_19
14. Bullough, J. D. Quantifying Stroboscopic Effects from Flickering Light Sources [Electronic resource] / J. D. Bullough, N. Narendran. — Rensselaer Polytechnic Institute, 2012. — Available at: \www/URL: http://www.cormusa.org/uploads/2012_2.10_Bullough_CORM_2012_Stroboscopic_Effects.pdf
15. Lehman, B. Designing to Mitigate Effects of Flicker in LED Lighting: Reducing risks to health and safety [Text] / B. Lehman, A. J. Wilkins // IEEE Power Electronics Magazine. — 2014. — Vol. 1, № 3. — P. 18–26. doi:10.1109/mpel.2014.2330442
16. Рекомендації по вуличному освітленню міста [Електронний ресурс]: Рекомендації Департаменту впровадження енергоефективних технологій при торговому домі «Одескабель» щодо поліпшення якості освітлення нічних вулиць, особливо в межах архітектурного ансамблю центральних районів міста // Департамент «Впровадження Енергоефективних Технологій» Торгового Дому «Одескабель». — Режим доступу: \www/URL: <http://ok-led.com.ua/rekomendatsiyi-povulichnomu-osvitlennyyu-mista/>. — 12.09.2016.
17. Biery, E. Understand the lighting flicker frustration (Magazine) [Electronic resource] / E. Biery // LEDs Magazine. — December 4, 2015. — Available at: \www/URL: <http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-12/issue-11/features/flicker/understand-the-lighting-flicker-frustration.html>
18. Мамаев, С. Проблема пульсаций в современном освещении [Текст] / С. Мамаев // Lumen & Expertunion. — 2013. — № 3 (6). — С. 101–108.
19. Тарасенко, М. Г. Динаміка коефіцієнта пульсацій світлового потоку теплових і люмінесцентних джерел світла [Текст] / М. Г. Тарасенко, К. М. Козак, В. П. Коваль // Світлотехніка та електроенергетика. — 2015. — № 1 (41). — С. 37–43.
20. Lau, W. LEDs: Fighting Flicker. The onset of LEDs in lighting has brought manufacturers and designers back to the drawing board to discuss an age-old problem [Electronic resource] / W. Lau // Architectural Lighting. — April 23, 2014. — Available at: \www/URL: http://www.archlighting.com/technology/leds-fighting-flicker_o
21. Zissis, G. Light Flicker from LED Lighting Systems — An Urgent Problem to Solve [Electronic resource] / G. Zissis // Technologies. Light flicker & Drivers. — 2015. — P. 50–59. — Available at: \www/URL: https://www.led-professional.com/resources-1/articles/lighting-flicker-from-led-lighting-systems/LpR53_p50-p59.pdf
22. Бондаревський, С. Л. Досвід розробки лабораторного стенда для порівняльного аналізу енергоефективності джерел штучного освітлення [Текст] / С. Л. Бондаревський, О. К. Данилейко, Ж. Г. Рожненко // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2015. — № 5/1 (25). — С. 44–47. doi:10.15587/2312-8372.2015.50254
23. Smith, A. Flicker, Shimmer and Ripple — Lessons in Light Quality [Electronic resource] / A. Smith // LED Journal. — May 27, 2014. — Available at: \www/URL: <http://www.ledjournal.com/main/blogs/flicker-shimmer-and-ripple-lessons-in-light-quality/>

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУЛЬСАЦИИ СВЕТОВОГО ПОТОКА ИСТОЧНИКОВ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

На основании украинских и Европейских Норм проанализированы требования к уровню пульсаций светового потока. Для расчета коэффициента пульсации предложено устройство, основанное на преобразователе оптического излучения — фотодиоде и регистраторе — осциллографе. Получены осциллограммы изменения светового потока во времени, на основании которых рассчитаны коэффициенты пульсаций. Исследования показали, что определенные образцы широко используемых ламп имеют недопустимый уровень пульсаций светового потока.

Ключевые слова: лампы, пульсация светового потока, устройство, осциллограммы, коэффициент пульсаций.

Бондаревський Станіслав Львович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електромеханіки, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна, **e-mail: kafEM@mail.ru**.

Данилейко Олег Костянтинович, старший викладач, кафедра електромеханіки, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.

Рожненко Жанна Георгіївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електромеханіки, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.

Бондаревський Станіслав Львович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електромеханіки, ГВУЗ «Криворізький національний університет», Україна.

Данилейко Олег Константинович, старший преподаватель, кафедра электромеханики, ГВУЗ «Криворізький національний університет», Україна.

Рожненко Жанна Георгиевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра электромеханики, ГВУЗ «Криворізький національний університет», Україна.

Bondarevskiy Stanislav, SIHE «Kryvyi Rih National University», Ukraine, **e-mail: kafEM@mail.ru**.

Danileiko Oleg, SIHE «Kryvyi Rih National University», Ukraine.

Rozhnenko Zhanna, SIHE «Kryvyi Rih National University», Ukraine